

Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 0 945 400 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
29.09.1999 Patentblatt 1999/39

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: **C01B 21/00**

(21) Anmeldenummer: 99105223.4

(22) Anmeldetag: 13.03.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE**  
Benannte Erreichungsstaaten:  
**AL LT LV MK RO SI**

(30) Priorität: 26.03.1998 DE 19813223

(71) Anmelder:  
• **Krupp Uhde GmbH** = 10345  
44141 Dortmund (DE)  
• **GHH BORSIG Turbomaschinen GmbH**  
46145 Oberhausen (DE)

(72) Erfinder:  
• **Maurer, Rainer**  
58332 Schwelm (DE)  
• **Szonn, Erich**  
58454 Witten (DE)  
• **Seehars, Wolfgang**  
46149 Oberhausen (DE)  
• **Mietze, Lothar**  
46487 Wesel (DE)

(74) Vertreter:  
**Patentanwälte  
Meinke, Dabringhaus und Partner  
Westenhellweg 67  
44137 Dortmund (DE)**

(54) **Verfahren zur Herstellung von Salpetersäure**

(57) Mit einem Verfahren zur Herstellung von Salpetersäure nach dem Zweidruck-Verfahren, in der die Verbrennung des eingesetzten Ammoniaks bei einem ersten, niedrigem Druck mittels verdichteter Prozeßluft geschieht und das durch die Verbrennung gebildete Nitrosegas bei einem zweiten, vergleichsweise höheren Druck als dem ersten mindestens teilweise von Wasser absorbiert wird, wodurch die Salpetersäure entsteht, und das nicht absorbierte Restgas zwecks Gewinnung von Verdichterarbeit in einem Restgasexpander vom zweiten Druck auf Umgebungsdruck entspannt wird, soll eine Lösung bereitgestellt werden, mit der eine Optimierung der Salpetersäure-Herstellung erreicht wird bei Verbesserung der Produktionsparameter und der Stoff- und Energiebilanzen.

Dies wird dadurch erreicht, daß ein Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichter getrennt von Prozeßluft und von Nitrosegas beaufschlagt wird, wobei die Prozeßluft auf den genannten ersten Druck verdichtet und das Nitrosegas auf den genannten zweiten Druck verdichtet wird.

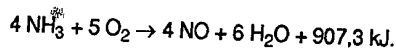
EP 0 945 400 A2

## Beschreibung

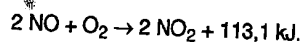
[0001] Die vorliegende Erfindung richtet sich auf ein Verfahren zur Herstellung von Salpetersäure mit integrierter Energierückgewinnung.

5 [0002] Insbesondere wird ein Verfahren zur Herstellung von Salpetersäure nach dem Zwei-Druckverfahren angegeben, in der die Verbrennung des eingesetzten Ammoniaks bei einem ersten, niedrigem Druck mittels verdichteter Prozeßluft geschieht und das durch die Verbrennung gebildete Nitrosegas bei einem zweiten, vergleichsweise höheren Druck als dem ersten mindestens teilweise von Wasser absorbiert wird, wodurch die Salpetersäure entsteht, und das nicht absorbierte Restgas zwecks Gewinnung von Verdichterarbeit in einem Restgasexpander vom zweiten Druck auf

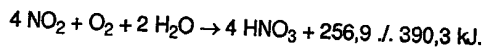
10 Umgebungsdruck entspannt wird.  
[0003] Zur Herstellung der Salpetersäure wird zunächst Ammoniak  $\text{NH}_3$  mit Luft reaktiv umgesetzt und Stickstoffoxid  $\text{NO}$  erzeugt:



15 [0004] Das dabei anfallende Stickstoffoxid  $\text{NO}$  wird dann zu Stickstoffdioxid  $\text{NO}_2$  autoxydiert:



20 [0005] Abschließend wird das so gewonnene Stickstoffdioxid  $\text{NO}_2$  in Wasser absorbiert und es entsteht die Salpetersäure:



25 [0006] Damit möglichst alles vom gewonnenen Stickstoffdioxid  $\text{NO}_2$  vom Wasser absorbiert wird, geschieht die Absorption bei erhöhtem Druck. Absorbiert wird vorzugsweise bei Drucken zwischen 4 bis 14 bar.

[0007] Der für die Umsetzung des als Rohstoff eingesetzten Ammoniaks benötigte Sauerstoff wird als Luftsauerstoff zugeführt. Dazu wird die Prozeßluft verdichtet und auf einen Druck gebracht, der sowohl der Oxidationsreaktion wie auch der Absorptionsreaktion angepaßt ist.

30 [0008] Die Energie zur Kompression der Luft wird einesteils mittels Entspannung des aus der Absorption austretenden Restgases auf Umgebungsdruck und anderenteils durch die Verwertung der bei den Umsetzungen freigesetzten Wärmen gewonnen.

[0009] Die in verschiedenen Ausführungen errichteten Salpetersäure-Anlagen sind an die speziellen Anforderungen ihres jeweiligen Standortes angepaßt.

35 [0010] Einsträngige Salpetersäure-Anlagen werden üblicherweise mit Nenn-Kapazitäten zwischen 100 bis 1000 Tonnen Tagesproduktion Salpetersäure errichtet. Bei Verdoppelung des Reaktionsteils können somit einsträngig bis zu 2000 Tonnen Tagesproduktion erreicht werden.

[0011] Ist die geforderte Tagesproduktion gering oder besitzt ein Standort vergleichsweise niedrigere Energiepreise, so wird die Salpetersäure-Anlage vorzugsweise nach dem Mono-Hochdruck-Verfahren ausgeführt. Bei diesem Verfahren erfolgt die Verbrennung des Ammoniaks und die Absorption der Stickstoffoxide bei etwa gleichem Druck von ca. 10

40 [0012] Sind große Nenn-Kapazitäten und/oder höhere Säurekonzentrationen gefordert, bietet eine nach dem Zwei-Druckverfahren ausgeführte Salpetersäure-Anlage die wirtschaftlichere Lösung.

[0013] Beim Zwei-Druckverfahren geschieht die Verbrennung des eingesetzten Ammoniaks bei einem ersten, und bei, - verglichen mit dem Absorptionsdruck -, niedrigerem Druck. Die bei der Verbrennung gebildeten nitrosen Gase, - auch Nitrosegas genannt -, werden nach der Kühlung mittels Nitrosegasverdichtung auf den zweiten Druck, den Absorptionsdruck, gebracht.

50 [0014] In der Firmendruckschrift "Technische Rundschau Sulzer", Heft 2, 1986, wird auf den Seiten 29 bis 31 der Beitrag von W. Hänggeli mit dem Titel "Expansionsturbinen für die Herstellung von Salpetersäure" veröffentlicht. In diesem Beitrag ist in Abbildung 2 das Verfahrens-Fließbild einer Salpetersäure-Produktionsanlage dargestellt. Gezeigt wird eine Salpetersäure-Anlage, die nach dem Zwei-Druckverfahren arbeitet.

[0015] Der Luftkompressor und der Nitrosegasverdichter dieser Salpetersäure-Anlage bilden eine Maschinengruppe, indem sie von einer gemeinsamen Welle aus angetrieben werden. Angetrieben wird diese Gruppe durch eine Dampfturbine einerseits und einen Restgasexpander andererseits. Diese vier miteinander zu einem Wellenstrang gekuppelten Turbo-Maschinen sind in Axial-Bauform ausgeführt. Die Förder- bzw. Antriebsfluide durchsetzen das jeweilige Maschinengehäuse im wesentlichen in achsparalleler Richtung. In ihrer Wellenerstreckung gesehen, bauen diese Maschinen lang. Dies zeigen die Bilder 1 und 7 des Beitrages. Der Platzbedarf eines solchen langgestreckten, gekuppelten Turbomaschinensatzes ist nachteilig, denn er steht oft der gewünschten kompakten Bauweise einer Salpeter-

säure-Anlage im Wege. Auch verursachen der Transport und/oder die Ausrichtung der langen Maschinen manchmal Probleme.

[0016] Seit rund vier Jahrzehnten ist eine Rotations-Verdichterbauart bekannt, die in Wellenerstreckung gesehen wesentlich kürzer baut als die Axialbauform. Bei diesen sogenannten Getriebe-Turbokompressoren ist in einem zentralen Getriebegehäuse ein Getriebegroßrad angeordnet, das vom Antrieb, z.B. einem Elektromotor, mit der Antriebsdrehzahl bewegt wird. Die Verzahnung des Getriebegroßrads steht im Eingriff mit der Verzahnung mindestens einer Ritzelwelle, so daß die Antriebsdrehzahl zu einer ins Schnelle übersetzten Ritzelwellendrehzahl gewandelt wird.

[0017] Um das zentrale Getriebegroßrad herum können bis zu vier schnell-laufende Ritzelwellen mit unterschiedlichen Übersetzungen im Getriebegehäuse angeordnet werden.

[0018] Auf den Enden der Ritzelwellen sind die radial/zentrifugal fördernden Turbokompressor-Laufräder montiert. Da die Laufräder fliegend angeordnet sind, bildet das Getriebegehäuse auch den Verdichterträger. Die Kompressorspiralgehäuse sind an das Getriebegehäuse angeflanscht.

[0019] An einer Mehrwellenmaschine mit einem Großrad lassen sich bis zu vier Ritzelwellen anordnen, davon zwei in der horizontalen Ebene und je eine über und unter dem Großrad. Damit ist theoretisch die Unterbringung von acht fliegend angeordneten Laufrädern möglich.

[0020] Mehrwellen-Getriebe-Turbokompressoren lassen sich eng an die geforderten Betriebsdaten anpassen. Das zu verdichtende Medium wird dabei stufenweise auf seinen Enddruck gebracht. Jede Verdichtungsstufe wird durch ein eigenes Laufrad gebildet. Die Laufräder werden entsprechend den betrieblichen Anforderungen in verschiedenen Größen und mit unterschiedlicher Beschauelfung eingesetzt. Die halboffen ausgeführten Laufräder besitzen eine hohe Schluckfähigkeit, sie sind räumlich verwunden und rückwärts gekrümmt beschauelt. Spitzenwirkungsgrade erzielen Laufräder in geschlossener Ausführung.

[0021] Mehrwellen-Getriebe-Turbokompressoren sind inzwischen in unterschiedlichen Ausführungen bekannt geworden.

[0022] In der europäischen Patentschrift EP-0 440 902-B1 ist ein Getriebe-Turbokompressor beschrieben, in dem dem zentralen Getriebegroßrad ein zusätzliches Zwischenzahnrad nachgeschaltet ist. Vom Getriebegroßrad werden vier Laufräder mittels zweier Ritzelwellen angetrieben. Vom Zwischenzahnrad werden weitere Ritzelwellen angetrieben. Mit einem solchen Getriebe-Turbokompressor lassen sich Druckverhältnisse von über 80 erzielen. In einer Anlage zur Herstellung von Salpetersäure kommen solch hohe Druckverhältnisse allerdings nicht vor.

[0023] In der deutschen Gebrauchsmuster-Eintragung G 92 01 858 ist ebenfalls ein Getriebe-Turbokompressor für höhere Druckverhältnisse beschrieben, die größer 60 bis zu 80 und mehr betragen können. Dieser Getriebe-Turbokompressor ist ebenfalls für den Einsatz in Salpetersäure-Anlagen wenig geeignet, weil in diesen Anlagen derart hohe Druckverhältnisse nicht auftreten.

[0024] Die deutsche Offenlegungsschrift DE 42 39 138 behandelt eine Verdichteranlage, bei der für die niederen Druckstufen Mehrwellen-Getriebe-Turbokompressoren verwendet werden, während die Verdichter-Hochdruckstufen durch eine gesonderte Turbine angetrieben werden, die ihrerseits durch Abzweigung von Prozeßmedium aus einer der Niederdruckstufen gespeist wird.

[0025] Eine derartige Verdichteranlage ist gleichfalls für die Verwendung in einer Salpetersäure-Anlage wenig geeignet, weil in Salpetersäure-Anlagen diese hohen Druckverhältnisse nicht benötigt werden.

[0026] Die Verdichteranlage nach DE 42 39 138 kann beispielsweise von einem Elektromotor, aber auch von einer Gasturbine oder einer Dampfturbine angetrieben sein. Bei Turbinenantrieb ist es möglich, das zentrale Großrad, wenn es gegenüber der Turbinendrehzahl langsamer läuft, über ein zusätzliches untersetzendes Ritzel anzutreiben, das mit der Turbinenwelle gekuppelt ist.

[0027] Da in den mit dem Zwei-Druckverfahren betriebenen Salpetersäure-Anlagen sowohl der Dampfturbinen- als auch der Gasturbinen-Antrieb parallel und zusammengeschaltet genutzt wird, ist das in DE 42 39 138 vorgesehene Ein-Antriebskonzept für diese Anlagen ungeeignet.

[0028] Noch ein Mehrwellen-Getriebe-Turbokompressor zur Förderung bei hohen Druckverhältnissen in der Größenordnung von 60 und mehr ist in der europäischen Patentschrift EP 0 602 491 dargestellt. Bei diesem besitzt die das Laufrad tragende Ritzelwelle die vom Sonnenrad eines Planetengetriebes erzeugte hohe Drehzahl.

[0029] Auch dieser Getriebe-Turbokompressor ist so nicht in Salpetersäure-Anlagen verwendbar.

[0030] Weil Getriebe-Turbokompressoren mit gutem Wirkungsgrad arbeiten, sind sie bei energiekosten-sensitiven Anlagen, wie z.B. in Bergwerken oder bei der Luftzerlegung, gut eingeführt.

[0031] In einer weiteren Veröffentlichung wird über die Arbeitsluftversorgung eines Kalksteintagebaus mittels vier-stufigen Mehrwellen-Getriebe-Turbokompressoren berichtet [1].

[0032] Auch werden Mehrwellen-Getriebe-Turbokompressoren beim Betrieb einer Fernrohrleitung für den Transport von gasförmigem Stickstoff genutzt. Der 8-stufige Getriebe-Turbokompressor liefert 55000 Nm<sup>3</sup>/h Stickstoff bei einem Enddruck von 80 bar [2].

[0033] In einem anderen Zeitschriftenbeitrag [3] wird ein Hinweis auf die Anwendung eines Mehrwellen-Getriebe-Turbokompressors in einer Salpetersäure-Anlage gegeben. In dieser Anlage wird die Salpetersäure nach dem Ein-Druck-

verfahren, d.h. nach dem Mono-Hochdruckverfahren, hergestellt. Der dabei genutzte dreistufige Getriebe-Turbokompressor dient ausschließlich für die Verdichtung der Verbrennungsluft. Als sein Antrieb ist ein Restgasexpander kombiniert mit Dampfturbine bzw. Elektromotor vorgesehen.

[0034] Der dreistufige Getriebe-Turbokompressor besitzt zwei Ritzelwellen mit je zwei Enden. Auf drei Enden der Ritzelwellen ist je ein Turbokompressor-Laufrad montiert, wodurch sich die Dreistufigkeit der Luftverdichtung ergibt, um die Verbrennungsluft von atmosphärischem Druck auf den Druck der Verbrennung des Ammoniaks von rund 10 bar zu bringen. Der Restgasexpander ist zweistufig und in axialer Bauform ausgeführt. Seine Abtriebswelle ist direkt mit dem vierten, laufradfreien Ende der Ritzelwellen des Getriebe-Turbokompressors gekuppelt. Eine Ritzelwellendrehzahl und die Drehzahl des Restgasexpanders sind damit identisch.

[0035] Bei diesem in [3] beschriebenen Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichter ist es von Nachteil, daß er lediglich mit zwei Ritzelwellen ausgeführt ist und deswegen nicht für das Zwei-Druckverfahren zur Erzeugung von Salpetersäure eingesetzt werden kann. Das in [3] angegebene Verfahren kann also lediglich für vergleichsweise niedrige Tagesproduktionskapazitäten eingesetzt werden, was auch noch einen weiteren Nachteil darstellt.

[0036] Die Firmen-Gruppe namens "Atlas-Copco" gibt eine regelmäßig erscheinende Publikation unter dem Titel "Applied Compressor & Expander Technique" heraus. Im Jahrgang 1994, Vol. 3, Issue 2, berichten auf Seiten 18 bis 21 die Herren Dr. Reza Agabi und Dr. Bebrooz Ershaghi in ihrem Beitrag "Expander Improvements in Ethylene Plants" über den Einsatz von Radial-Expandern in Anlagen zur Herstellung von Ethylen. Ein Hinweis, daß Radial-Expander mit einwärts auf die Rotorachse hin gerichteter Strömungsführung im Expanderlaufrad außer in Ethylen-Anlagen auch in Anlagen zur Herstellung von Salpeter-Säure einzusetzen wären, wird nicht gegeben.

[0037] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren bzw. eine Anlage zur Salpetersäureherstellung bereitzustellen, welche bei Vermeidung bzw. Verminderung der vorgenannten Nachteile eine Optimierung der Salpetersäure-Herstellung erreicht bei Verbesserung der Produktionsparameter und der Stoff- und Energiebilanzen.

[0038] Mit einem Verfahren der eingangs bezeichneten Art wird diese Aufgabe gemäß der Erfindung dadurch gelöst, daß ein Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichter getrennt von Prozeßluft und von Nitrosegas beaufschlagt wird, wobei die Prozeßluft auf den genannten ersten Druck verdichtet und das Nitrosegas auf den genannten zweiten Druck verdichtet wird.

[0039] Mit der Erfindung wird erreicht, über einen einzigen Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichter die zur Herstellung der Salpetersäure vorgesehenen Stoffströme zu verarbeiten und die geforderten Drücke in nur einer Maschine zu erreichen.

[0040] Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Verfahrensweise ergeben sich durch die Unteransprüche ebenso wie aus den Anlageansprüchen.

[0041] Eine zweckmäßige Verfahrensweise kann darin bestehen, die vom Restgasexpander erzeugte Verdichtungsarbeit mindestens teilweise zum Antrieb von Nitrosegas-Verdichterstufen und/oder von Luft-Verdichterstufen des Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichters zu verwenden.

[0042] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung besteht darin, daß die von einem oder mehreren abtriebsseitigen Wellenenden eines Restgasexpanders erzeugte Verdichterarbeit unmittelbar und drehzahlidentisch an mindestens eine Ritzelwelle des einen einzigen Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichters übertragen wird.

[0043] Grundsätzlich sind verschiedene Antriebsarten des Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichters denkbar. Hier kann beispielsweise in Ausgestaltung nach der Erfindung ein Elektromotor, ein Dieselmotor oder eine Gas- oder eine Dampfturbine für den Antrieb des Großrades vorgesehen sein, wobei eine weitere Ausgestaltung darin bestehen kann, daß eine Ritzelwelle des Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichters von einer Gas- oder Dampfturbine unmittelbar und drehzahlidentisch angetrieben wird. Über diesen Antrieb werden dann die weiteren Aggregate mit angetrieben.

[0044] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung besteht darin, daß aus der Niederdruckstufe des Luftverdichters am Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichter die verdichtete Luft unmittelbar in die Hochdruckstufe übergeleitet wird, wobei in weiterer Ausgestaltung auch vorgesehen sein kann, daß aus der Niederdruckstufe des Nitrosegasverdichters des Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichters die verdichteten Nitrosegase ungekühlt in die Hochdruckstufe übergeleitet werden.

[0045] Zur Lösung der oben formulierten Aufgabe sieht die Erfindung, ausgehend von einer Anlage zur Herstellung von Salpetersäure nach dem Zwei-Druckverfahren mit einem  $\text{NH}_3$ -Brenner zur Verbrennung des eingesetzten Ammoniaks bei einem ersten, niedrigen Druck sowie einem Verdichter zur Zuführung der Prozeßluft, einem Adsorptionsturm zur teilweisen Adsorbierung des Nitrosegases mittels Wasser und Abführung der Salpetersäure mit einem Restgasexpander zur Gewinnung von Verdichterarbeit und Entspannung von dem zweiten Druckniveau auf Umgebungsdruck, vor, die sich dadurch auszeichnet, daß in der Anlage ein Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichter vorgesehen ist mit einem Verdichter zur Verdichtung der Prozeßluft auf den ersten Druck und mit einem Nitrosegasverdichter zur Verdichtung des Nitrosegases auf einen zweiten Druck.

[0046] Eine solche Anlage weist die weiter oben schon zur Verfahrensweise angegebenen Vorteile auf. Darüber hinaus läßt sie sich besonders kompakt bauen, da nur ein einziger Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichter eingesetzt werden muß, um Kompressionen und Dekompressionen zu ermöglichen.

[0047] Ausgestaltungen der Anlage ergeben sich aus den weiteren Anlageansprüchen, wobei vorgesehen sein kann, daß der eine einzige Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichter mit vier Ritzelwellen ausgestattet ist, die erste und die dritte Ritzelwelle in der horizontalen Mittelebene, die durch die Achse des Großrades festgelegt ist, angeordnet sind, die zweite Ritzelwelle zentrisch über dem Großrad und die vierte Ritzelwelle zentrisch unter dem Großrad angeordnet ist.

[0048] Darüber hinaus können mindestens drei Ritzelwellen zwei Enden mit Laufrädern von Verdichtern bzw. Expandern aufweisen.

[0049] Eine Ausgestaltung der Anlage besteht beispielsweise darin, daß die erste Ritzelwelle an ihrem einen Ende mit dem Laufrad der Niederdruckstufe eines Luftverdichters und an ihrem anderen Ende mit dem Laufrad der Niederdruckstufe eines Restgasradialexpanders bestückt ist, die zweite Ritzelwelle an ihrem einen Ende mit dem Laufrad der Niederdruckstufe eines Nitrosegasverdichters und an ihrem anderen Ende mit dem Laufrad der Hochdruckstufe des besagten Nitrosegasverdichters bestückt ist, die dritte Ritzelwelle an ihrem einen Ende mit dem Laufrad einer Hochdruckstufe des besagten Restgasradialexpanders und an ihrem anderen Ende mit dem Laufrad der Hochdruckstufe des besagten Luftverdichters bestückt ist und die vierte Ritzelwelle an ihrem einen Ende vom abtriebsseitigen Wellenende einer Prozeßwärme umsetzenden Dampfturbine unmittelbar und drehzahlidentisch angetrieben wird und an ihrem anderen Ende unbestückt ist.

[0050] Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aufgrund der nachfolgenden Beschreibung sowie anhand der Zeichnung. Diese zeigt in

Fig. 1 ein Anlagenschaltbild mit einem vereinfacht wiedergegebenen erfindungsgemäßen Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichter und in

Fig. 2 eine schematische Darstellung der Anordnung der Ritzelwellen in bezug auf das Großrad des Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichters.

[0051] In Fig. 1 sind die zu- und abströmenden Massenströme mit dreistelligen Bezugszeichen versehen. So bezeichnet das Bezugszeichen 100 den Eintritt von flüssigem  $\text{NH}_3$ , 101 den Eintritt der Prozeßluft, 104 den Eintritt des Prozeßwassers in das System und 103 den Austritt der Salpetersäure aus der Anlage, wobei die Abluft symbolisch als Kamin dargestellt ist und das Bezugszeichen 105 trägt.

[0052] Das bei 100 eintretende  $\text{NH}_3$ -flüssig beaufschlagt einen  $\text{NH}_3$ -Verdampfer 1, einen  $\text{NH}_3$ -Gas-Vorwärmer 2, dann einen  $\text{NH}_3$ -Filter 3 und wird dann einem  $\text{NH}_3$ -Luftmischer 4 zugeführt.

[0053] Bei Eintritt in den Luftmischer 4 hat die Prozeßluft 101 zunächst einen Luftfilter 105 durchströmt, dann einen allgemein mit 6 bezeichneten Luftverdichter und tritt somit mit erhöhtem Druck in den  $\text{NH}_3$ -Luftmischer 4 ein. Das  $\text{NH}_3$ -Luft/Luftgemisch wird einem  $\text{NH}_3$ -Brenner mit LaMont-Abhitzekeßel 7 zugeführt und über einen Restgaserhitzer 8 geleitet, um dann über einen ersten Nitrosegaskühler 9 dem zweistufigen Nitrogaskompressor, allgemein mit 10 bezeichnet, zugeführt zu werden. Im Strömungsweg des Nitrosegases folgt dann ein Restgaserhitzer, ein Nitrosegaskühler 12, wobei dann das Nitrosegas unten in den Adsorptionsturm 13 eintritt, der von oben mit Prozeßwasser 104 beaufschlagt ist. Geleitet über den  $\text{HNO}_3$ -Entgaser 14 verläßt dann bei 103 die Salpetersäure den Prozeß.

[0054] Aus dem Dom des Absorptionsturmes wird das Restgas über den Restgaserhitzer 11 dann über den Restgaserhitzer 8 dem Restgasradialexpander, allgemein mit 15 bezeichnet, zugeführt, um nach Entspannung über den Schornstein 105 an die Umgebung abgegeben zu werden.

[0055] Wesentlich für die vorliegende Erfindung ist der allgemein mit 19 bezeichnete Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichter, der in Fig. 1 schematisch vereinfacht dargestellt ist, wobei dort das in Fig. 2 mit 25 bezeichnete Großrad aus Darstellungsgründen nicht wiedergegeben ist, in Fig. 1 sind die mit 21 bis 24 bezeichneten Ritzelwellen dargestellt.

[0056] Die Ritzelwelle 22 trägt auf beiden Seiten je eine Stufe des Nitrosegasverdichters 10, wobei die Niederdruckstufe mit 111 und die Hochdruckstufe des Nitrosegasverdichters bzw. -kompressors mit 112 bezeichnet ist.

[0057] Die Ritzelwellen 21 und 23 tragen auf einer Seite zwei Stufen des Restgasradialexpanders 15. Dort wird zunächst die Hochdruckstufe 152 und dann die Niederdruckstufe 151 vom Restgas beaufschlagt, während die jeweils korrespondierenden anderen Wellenenden die zwei Stufen des Luftverdichters 6 tragen. Die Ritzelwelle 21 trägt die Niederdruckstufe 61, während die Ritzelwelle 23 die Hochdruckstufe 62 des Luftverdichters aufweist.

[0058] Zusätzlich zu den Ritzelwellen 21, 22 und 23 steht das Großrad 25 des Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichters 19 noch mit einem Ritzel der Welle 24 im Eingriff. Die Welle 24 trägt eine Kondensationsdampfturbine 17, die vom Dampf aus der Dampftrommel 16 beaufschlagt wird, der über den Kondensator 18 dieser Dampftrommel 16 zugeführt wird.

[0059] In der räumlichen Zuordnung liegt die Ritzelwelle 22 des Nitrosegaskompressors oben auf dem Großrad 25, die vierte Ritzelwelle 24 der Kondensationsdampfturbine 17 unterhalb des Großrades, während die Ritzel der Ritzelwelle 21 und 23 links und rechts neben dem Großrad 25 in einer gemeinsamen horizontalen Mittelebene angeordnet sind, wie sich dies aus Fig. 2 ergibt.

[0060] Als Beispiel für einen möglichen einzusetzenden Maschinensatz seien folgende Angaben gemacht, wobei

eine Salpetersäure-Anlage nach dem hier beschriebenen Zwei-Druckverfahren zugrundegelegt wird mit 900 Tagestonnen Salpetersäure bezogen auf eine 100 %-ige Konzentration. Die Beispiele beziehen sich auf einen Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichter der beschriebenen Art:

5 Technische Daten:

[0061]

10 Kompressor/Compressor:

Fluid:

Luft/air

NO-Gas

Volumenstrom/Volume flow

15 - STP-Bedingungen, naß  
(STP conditions, wet)  
0°C, 1.013 bar

m<sup>3</sup>/h 145.880 132.140

20 - Saug-Bedingungen  
(Suction conditions)

m<sup>3</sup>/h 164.591 37.653

## Einlaßbedingungen/Inlet conditions:

5	- Saug-Druck, abs. (Suction pressures, abs)	bar	0,98	4,2
	- Saug-Temperatur (Suction temperature)	°C	2,5	50
10	- Relative Feuchte (Relative humidity)	pct	60	

## Auslaßbedingungen/Outlet conditions:

15	- Entladungsdruck, abs. (Discharge pressure, abs)	bar	4,6	12,0
	- Entladungstemperatur, ca. (Discharge temperature, approx.)	°C	220	177
20	Kompressor Drehzahl, ca. (Compressor speed, approx.)	rpm	7.250/10.374	13.668
25	Benötigte Kupplungsleistung (Power required at coupling)	kW	10.792	6.492

Expander:

30	Fluid:			
	STP Volumenstrom (STP volume flow)	m³/h	116.550	
35	Einlaßdruck, abs. (Inlet pressure, abs)	bar	10,9	
	Einlaßtemperatur (Outlet pressure, abs)	°C	420	
40	Auslaßdruck, abs (Outlet pressure, abs)	bar	1,09	
	Auslaßtemperatur abs. (Outlet temperature, approx.)	°C	150	
45	Leistungsabgabe (Power output at coupling)	kW	11.608	
	Drehzahl (Speed)	rpm	10.374/7.250	
50				

Dampfturbine/Steam turbine:

5	Frischdampf-Druck (Live-steam pressure)	abs.bar	60
10	Frischdampf-Temperatur (Live-steam temperature)	°C	450

Kondensator/Condenser:

15	Druck, abs (Pressure, abs)	bar	0,1
20	Leistungsabgabe (Power output at coupling)	kW	5.676
	Dampfdurchsatz (Steam flow)	kg/h	21.350
25	Drehzahl (Speed)	rpm	8.700

Verzeichnis der Veröffentlichungen

## [0062]

- 35 [1] J. Pruemper, Moderne vielstufige Getriebekompressoren und ihr Einsatz in der Industrie Konferenz-Einzelbericht: 6. Symposium Pumpen und Verdichter, TU Magdeburg, DDR, 11.-12.4.1989, Band 1 (1989) Apr, Seite 187-201 (15 Seiten, 19 Bilder).
- 40 [2] H.-J. Pruemper, Getriebeverdichter für die Prozeßgasindustrie Zeitschriftenaufsatz: Energieanwendung, Band 42 (1993) Heft 4, Seite 198-200 (3 Seiten, 3 Bilder).
- [3] Uhde GmbH, The Compact Plant, NITROGEN, May-June 1995, p. 32/33.

Bezugszeichen-Legende

## [0063]

- 1 NH<sub>3</sub>-Verdampfer
- 2 NH<sub>3</sub>-Gas-Vorwärmer
- 50 3 NH<sub>3</sub>-Gasfilter
- 4 NH<sub>3</sub>-Luftmischer
- 5 Luftfilter
- 6 Luftverdichter
- 7 NH<sub>3</sub>-Brenner mit La Mont-Abhitzekessel
- 55 8 Restgas-Erhitzer II
- 9 Nitrose-Gaskühler I
- 10 Nitrose-Gaskompressor
- 11 Restgas-Erhitzer I



- 12 Nitrose-Gaskühler II
- 13 Absorptionsturm
- 14 HNO<sub>3</sub>-Entgaser
- 15 Restgas-Radial-Expander
- 5 16 Dampftrommel
- 17 Kondensationsdampfturbine
- 18 Kondensator
- 19 Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichter
- 21 erste Ritzelwelle
- 10 22 zweite Ritzelwelle
- 23 dritte Ritzelwelle
- 24 vierte Ritzelwelle
- 61 Niederdruckstufe des Luftverdichter
- 62 Hochdruckstufe des Luftverdichter
- 15 100 NH<sub>3</sub>-flüssig
- 101 Prozeßluft
- 103 Salpetersäure
- 104 Prozeßwasser
- 105 Restgas-Schornstein
- 20 111 Niederdruckstufe des Nitrose-Gaskompressors
- 112 Hochdruckstufe des Nitrose-Gaskompressors
- 151 Niederdruckstufe des Restgas-Radial-Expanders
- 152 Hochdruckstufe des Restgas-Radial-Expanders

## 25 Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Salpetersäure nach dem Zweidruck-Verfahren, in der die Verbrennung des eingesetzten Ammoniaks bei einem ersten, niedrigem Druck mittels verdichteter Prozeßluft geschieht und das durch die Verbrennung gebildete Nitrosegas bei einem zweiten, vergleichsweise höheren Druck als dem ersten mindestens teilweise von Wasser absorbiert wird, wodurch die Salpetersäure entsteht, und das nicht absorbierte Restgas zwecks Gewinnung von Verdichterarbeit in einem Restgasexpander vom zweiten Druck auf Umgebungsdruck entspannt wird,  
 30 dadurch gekennzeichnet,  
 daß ein Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichter getrennt von Prozeßluft und von Nitrosegas beaufschlagt wird, wobei die Prozeßluft auf den genannten ersten Druck verdichtet und das Nitrosegas auf den genannten zweiten Druck verdichtet wird.
- 35 2. Verfahren nach Anspruch 1,  
 dadurch gekennzeichnet,  
 40 daß die vom Restgasexpander erzeugte Verdichterarbeit mindestens teilweise zum Antrieb von Nitrosegas-Verdichterstufen und/oder von Luft-Verdichterstufen des Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichters verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
 dadurch gekennzeichnet,  
 45 daß die von einem oder mehreren abtriebsseitigen Wellenenden eines Restgasexpanders erzeugte Verdichterarbeit unmittelbar und drehzahlidentisch an mindestens eine Ritzelwelle des einen einzigen Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichters übertragen wird.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,  
 50 dadurch gekennzeichnet,  
 daß das Großrad des einen einzigen Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichters entweder von einem Elektromotor, einem Dieselmotor, oder einer Gas- oder einer Dampfturbine angetrieben wird.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,  
 55 dadurch gekennzeichnet,  
 daß eine Ritzelwelle des einen einzigen Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichters von einer Gas- oder einer Dampfturbine unmittelbar und drehzahlidentisch angetrieben wird.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß aus der Niederdruckstufe des Luftverdichters des Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichters die verdichtete Luft ungekühlt in die Hochdruckstufe übergeleitet wird.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß aus der Niederdruckstufe des Nitrosegasverdichters des Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichters die verdichteten Nitrosegase ungekühlt in die Hochdruckstufe übergeleitet werden.
8. Anlage zur Herstellung von Salpetersäure nach dem Zwei-Druckverfahren mit einem  $\text{NH}_3$ -Brenner (7) zur Verbrennung des eingesetzten Ammoniaks bei einem ersten, niedrigen Druck sowie einem Verdichter zur Zuführung der Prozeßluft, einem Adsorptionsturm (13) zur teilweisen Adsorbierung des Nitrosegases mittels Wasser und Abführung der Salpetersäure, mit einem Restgasexpander zur Gewinnung von Verdichterarbeit und zur Entspannung des Restgases von dem zweiten Druckniveau auf Umgebungsdruck, dadurch gekennzeichnet, daß in der Anlage ein Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichter (19) vorgesehen ist mit einem Verdichter zur Verdichtung der Prozeßluft auf den ersten Druck und mit einem Nitrosegasverdichter zur Verdichtung des Nitrosegases auf einen zweiten Druck.
9. Anlage nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der eine einzige Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichter (19) mit vier Ritzelwellen (21-24) ausgestattet ist, die erste (21) und die dritte Ritzelwelle (23) in der horizontalen Mittelebene, die durch die Achse des Großrades (25) festgelegt ist, angeordnet sind, die zweite Ritzelwelle (22) zentrisch über dem Großrad (25) und die vierte Ritzelwelle (24) zentrisch unter dem Großrad angeordnet ist (Fig. 2).
10. Anlage nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens drei Ritzelwellen zwei Enden mit Laufrädern von Verdichtern bzw. Expandern aufweisen.
11. Anlage nach Anspruch 8, 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet,
  - daß die erste Ritzelwelle (21) an ihrem einen Ende mit dem Laufrad der Niederdruckstufe (61) eines Luftverdichters (6)
  - und an ihrem anderen Ende mit dem Laufrad der Niederdruckstufe (151) eines Restgasradialexpanders (15) bestückt ist;
  - die zweite Ritzelwelle (22) an ihrem einen Ende mit dem Laufrad (111) der Niederdruckstufe eines Nitrosegasverdichters (10)
  - und an ihrem anderen Ende mit dem Laufrad der Hochdruckstufe (112) des besagten Nitrosegasverdichters (10) bestückt ist;
  - die dritte Ritzelwelle (23) an ihrem einen Ende mit dem Laufrad einer Hochdruckstufe (152) des besagten Restgasradialexpanders (15) und an ihrem anderen Ende mit dem Laufrad (2) der Hochdruckstufe des besagten Luftverdichters (6) bestückt ist;
  - und die vierte Ritzelwelle (24) an ihrem einen Ende vom abtriebsseitigen Wellenende einer Prozeßwärme umsetzenden Dampfturbine (17) unmittelbar und drehzahlidentisch angetrieben wird und an ihrem anderen Ende unbestückt ist.

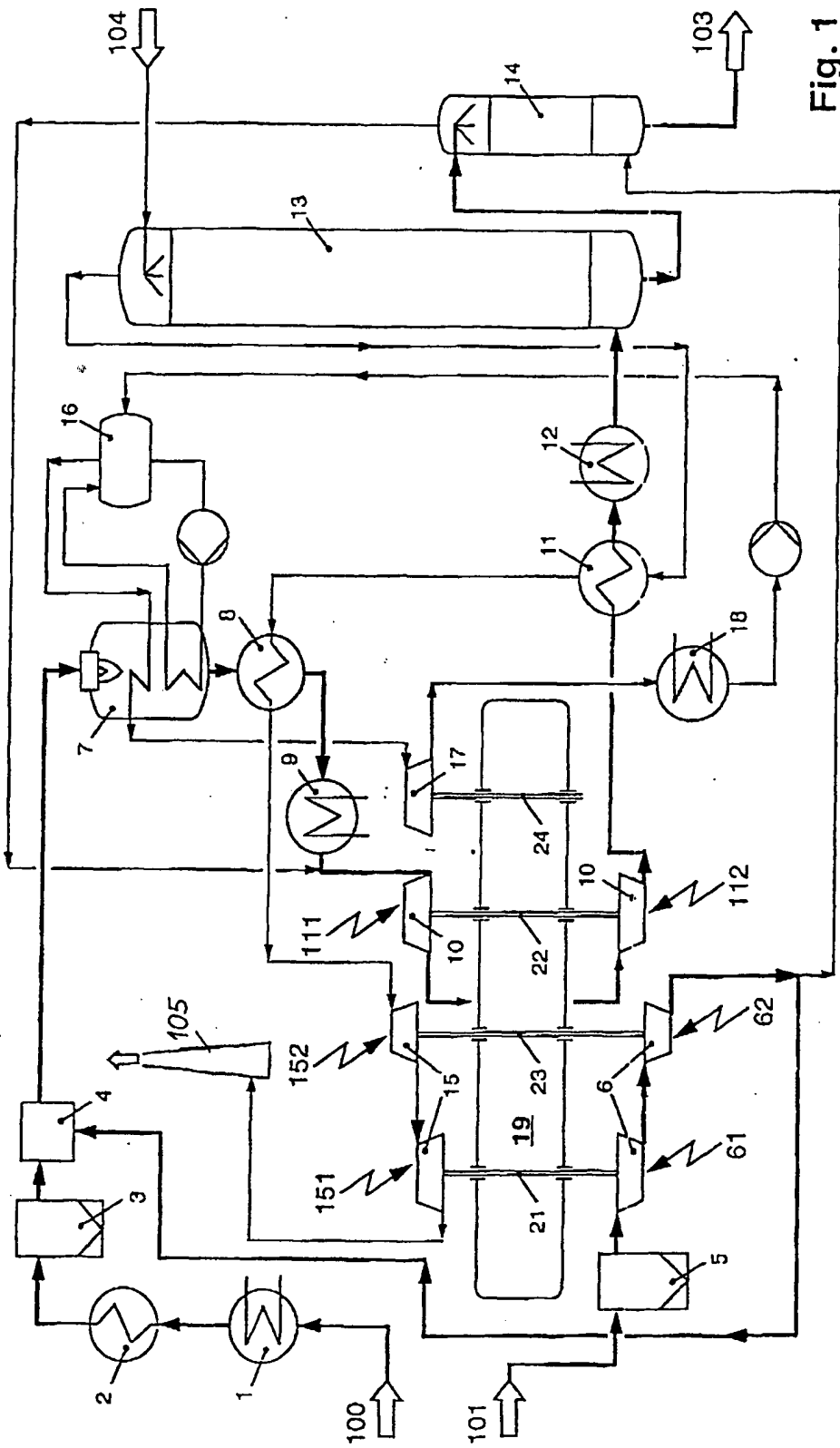


Fig. 1

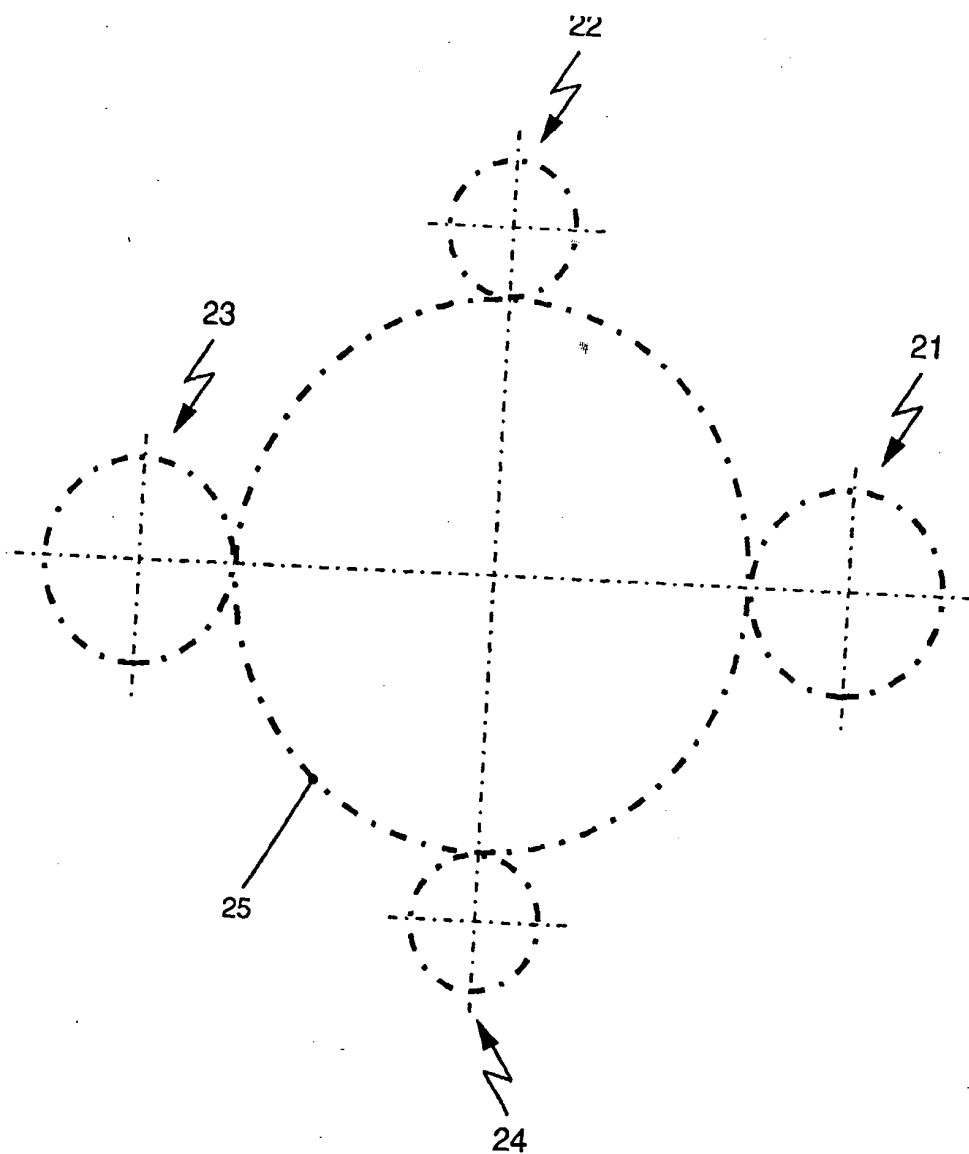
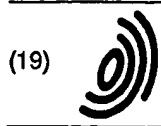


Fig. 2



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 0 945 400 A3**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(88) Veröffentlichungstag A3:  
17.05.2000 Patentblatt 2000/20

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: C01B 21/00, C01B 21/28

(43) Veröffentlichungstag A2:  
29.09.1999 Patentblatt 1999/39

(21) Anmeldenummer: 99105223.4

(22) Anmeldetag: 13.03.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 26.03.1998 DE 19813223

(71) Anmelder:  
• Krupp Uhde GmbH  
44141 Dortmund (DE)  
• MAN Turbomaschinen AG GHH BORSIG  
46145 Oberhausen (DE)

(72) Erfinder:  
• Maurer, Rainer  
58332 Schwelm (DE)  
• Szonn, Erich  
58454 Witten (DE)  
• Seehars, Wolfgang  
46149 Oberhausen (DE)  
• Mietze, Lothar  
46487 Wesel (DE)

(74) Vertreter:  
Patentanwälte  
Meinke, Dabringhaus und Partner  
Westenhellweg 67  
44137 Dortmund (DE)

(54) **Verfahren zur Herstellung von Salpetersäure**

(57) Mit einem Verfahren zur Herstellung von Salpetersäure nach dem Zweidruck-Verfahren, in der die Verbrennung des eingesetzten Ammoniaks bei einem ersten, niedrigem Druck mittels verdichteter Prozeßluft geschieht und das durch die Verbrennung gebildete Nitrosegas bei einem zweiten, vergleichsweise höheren Druck als dem ersten mindestens teilweise von Wasser absorbiert wird, wodurch die Salpetersäure entsteht, und das nicht absorbierte Restgas zwecks Gewinnung von Verdichterarbeit in einem Restgasexpander vom zweiten Druck auf Umgebungsdruck entspannt wird, soll eine Lösung bereitgestellt werden, mit der eine Optimierung der Salpetersäure-Herstellung erreicht wird bei Verbesserung der Produktionsparameter und der Stoff- und Energiebilanzen.

Dies wird dadurch erreicht, daß ein Mehrwellen-Getriebe-Turboverdichter getrennt von Prozeßluft und von Nitrosegas beaufschlagt wird, wobei die Prozeßluft auf den genannten ersten Druck verdichtet und das Nitrosegas auf den genannten zweiten Druck verdichtet wird.

EP 0 945 400 A3



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 99 10 5223

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
A,D	EP 0 440 902 B (BORSIG BABCOCK AG) 14. August 1991 (1991-08-14) * Anspruch 1 *	1	C01B21/00 C01B21/28
A,D	DE 42 39 138 A (BHS VOITH GETRIEBETECHNIK GMBH) 26. Mai 1994 (1994-05-26) * Anspruch 1 *	1	
A,D	EP 0 602 491 A (BHS VOITH GETRIEBETECHNIK GMBH) 22. Juni 1994 (1994-06-22) * Anspruch 1 *	1	
A,D	HÄNGGELI W. : "EXPANSIONSTURBINEN FÜR DIE HERSTELLUNG VON SALPETERSÄURE" TECHNISCHE RUNDSCHAU SULZER, Bd. 2, 1986, Seite 29-31 XP002132897	1	
A,D	UHDE GMBH: "THE COMPACT PLANT" NITROGEN, 1995, Seiten 32--33, XP002132898	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
			C01B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>BERLIN</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>15. März 2000</b>	Prüfer <b>Clement, J-P</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		<p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze  E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist  D : in der Anmeldung angeführtes Dokument  L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument  &amp; : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>	
<p>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet  Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie  A : technologischer Hintergrund  O : nichtschriftliche Offenbarung  P : Zwischenliteratur</p>			

EPO FORM 1603 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 99 10 5223

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

15-03-2000

Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0440902 B	14-08-1991	DE 4003482 A	08-08-1991
		CS 9100236 A	15-09-1991
		DE 59006232 D	28-07-1994
		EP 0440902 A	14-08-1991
		JP 2835324 B	14-12-1998
		JP 5018394 A	26-01-1993
		SK 278378 B	05-02-1997
		RU 2002119 C	30-10-1993
		US 5154571 A	13-10-1992
DE 4239138 A	26-05-1994	KEINE	
EP 0602491 A	22-06-1994	DE 4241141 A	09-06-1994
		DE 59304119 D	14-11-1996
		US 5382132 A	17-01-1995

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**This Page Blank (uspto)**